

A mérési bizonytalanságról – népszerűen*

Bevezetés

A mérési bizonytalanság kiszámításának vagy elterjedtebb szóhasználatával értékelésének és kifejezés módjának szakirodalma mind gazdagabb és gazdagabb. A tudományos szinten írt tanulmányok és cikkek mellett szükség van olyan hétköznapi nyelven megírt ismertetőkre, amelyek az új elgondolásokat közelebb viszik az általános érdeklődésű olvasóhoz, könnyen érthető, de ugyanakkor megfelelnek a téma által megkövetelt szakmai színvonalnak is. Ennek a törekvésnek a jegyében készült ez a cikk.

A 3. kiadása előtt álló nemzetközi metrológiai értelmező szótár szigorú elvek szerint megszerkesztett szakkifejezéseit is indokolt oldottabb formában újrafogalmazni. A szótárban a mérési bizonytalanság meghatározása a következő: *a mérési bizonytalanság paraméter, amely a mérendő mennyiségnek a felhasznált információ alapján tulajdonított értékek szóródását jellemzi.* A meghatározás öt úgynevezett „megjegyzéssel” egészül ki, amelyek elmélyítik és színezik a fogalom értelmezését. A 4. számú megjegyzésben olvasható, hogy „a mérési eredményhez társított kiterjesztett mérési bizonytalanság ... egy olyan megbízhatósági tartományt ad meg, amelyről feltételezhető, hogy nagy valószínűséggel magába foglalja a valódi mennyiségértékek készletét”. A mérési bizonytalanság tehát a mérendő mennyiség mért értéke körüli tartomány, amelynek a szélessége bizonyos, itt nem részletezett adatok ismeretében kiszámítható, és amelyre a mérést végző vagy a mérési eredményt felhasználó személy úgy tekinthet, hogy a mennyiség keresett (valódi, igazi, tényleges stb.) értéke azon belül majdnem biztosan megtalálható.

A mérési bizonytalanság értelmezését és meghatározásának befogadását az a körülmény nehezíti, hogy a mérésekkel foglalkozó műszaki szakemberek nemzedékei - más elméleti megfontolások alapján - más gyakorlatot alakítottak ki, és ennek részeként más szókinccset használtak. A ma „klasszikusnak” nevezett szóhasználatban középponti helyet foglalt el a mérési hiba, ami jelenlegi meghatározása szerint *a mért érték és a feltételezett valódi érték különbsége.* A mennyiség valódi értéke azért „feltételezett”, mert méréssel nem lehet tökéletesen pontosan meghatározni. A mérés eredménye a mérési hiba ismeretében helyesbíthető. A mérési hibát és az arra vonatkozó korrekciót azonban nem lehet egzaktul meghatározni, és ez a pontatlanság maga is hozzájárul a mérési bizonytalansághoz.

Miért kell kiszámítani és megadni a mérési bizonytalanságot?

A mérési bizonytalanság megadása lehetővé teszi a különböző laboratóriumokból származó, vagy egy adott laboratóriumban kapott, egymással egyenértékű eredmények mértékadó összehasonlítását, vagy az eredményeknek a műszaki előírásban (specifikációban) vagy szabványokban megadott referenciaértékekkel való egybevetését. A felhasználó akkor tudja megítélni az eredmények egyenértékűségét, ha ez az információ a rendelkezésre áll, és akkor tudja elkerülni a vizsgálatok szükségtelen megismétlését, ha az eltérések nem jelentősek.

* Készült Keith Birch, NPL (National Physical Laboratory) "**Bizonytalanságbecslés vizsgálatoknál**" c. cikke alapján

A vizsgálat eredményének bizonytalanságát az eredmények értelmezésekor figyelembe kell venni. Bizonyos esetekben a mérés vagy a vizsgálati eredmény bizonytalansága olyan kicsinek tekinthető, hogy nem érdemes szabályosan kiértékelni. Szabályos becslés nélkül azonban ennek a feltevésnek a helyessége bizonyíthatatlan, és ha kétely merül fel a bizonytalansággal kapcsolatban, a kérdésre nem lehet meggyőző választ adni. Egyes vizsgálati eredmények bizonytalansága igen nagy lehet. Ez a helyzet áll elő például, ha a vizsgálat tárgyát képező minta tulajdonságai változhatnak. Előfordulhat, hogy még a méréshez kapcsolódó viszonylag nagy bizonytalanság is elhanyagolható a minta változásai által okozott bizonytalansághoz képest. A mérési bizonytalanság becslése nélkül azonban ez az állítást sem tudjuk alátámasztani.

A mérési vagy a vizsgálati eredmény bizonytalanságához hozzájáruló összetevők becslése, vagy legalább is teljes körű figyelembevétele ad eszközt annak a megállapításához, hogy az elvégzett mérés és a kapott eredmény elfogadható, érvényes. Ez segíthet annak a megerősítésében, hogy a működési specifikációba bevett tűréseket betartják, vagy hogy a vizsgált tétel a szándékolt felhasználásnak megfelel.

A mérési bizonytalansághoz hozzájáruló összetevők átfogó értékelése mutat rá a vizsgálati módszer esetleges kritikus pontjaira, amelyekre a módszer tökéletesítése és a mérés pontossága érdekében nagyobb figyelmet kell fordítani. A bizonytalanságértékelés javíthatja a vizsgálati módszer elvének megértését, és gyakorlati alkalmazása a módszer érvényesítő ellenőrzésének (idegen szóval: validálásának) kulcsfontosságú részévé válhat.

Végezetül említsük meg, hogy az ISO/IEC 17025 *A vizsgáló- és kalibrálólaboratóriumok felkészültségével szemben támasztott általános követelmények* nemzetközi szabvány mint általános követelményt támasztja minden akkreditált laboratóriummal szemben a mérési bizonytalanság meghatározását és közlését. Megköveteli, hogy a laboratóriumok "rendelkezzenek a mérési bizonytalanság értékeléséhez szükséges eszközökkel, és alkalmazzák azokat."

A bizonytalanság értékelése során szükséges szigorúság foka más lehet a vizsgáló- és más lehet a kalibrálólaboratóriumokban. Bizonyos esetekben a vizsgálati módszer megakadályozhatja a mérési bizonytalanság szigorú, metrológiaileg és statisztikailag is helyes kiszámítását. Ilyenkor is követelmény azonban, hogy a laboratórium kísérelje meg azonosítani az összes bizonytalanságforrást, és végezzen ésszerű mélységű bizonytalanságértékelést. Ez a cikk különös figyelmet szentel a mérési bizonytalanság értékelésével kapcsolatos, a vizsgálólaboratóriumokban felmerülő kérdésekre.

A cikk a témakör általános elvei mellett ismerteti a bizonytalanságforrásokat, a bizonytalanságok értékelésének általános megközelítését, a mérési bizonytalanság A-típusú és B-típusú értékelését, a standard bizonytalanság, az eredő standard bizonytalanság és a kiterjesztett bizonytalanság fogalmát, a bizonytalanságbecslési eljárás lépéseit, az eredmények megadásmódjának általános megközelítését, továbbá levon bizonyos következtetéseket. A témához kapcsolódó 4 függelékkel egészül ki:

- A. Függelék: Fogalomgyűjtemény;
- B. Függelék: A legjobb mérőképesség;
- C. Függelék: A szórásra alkalmazandó korrekciók a mérések számának függvényében;
- D. Függelék: Az EUROLAB, az EURACHEM és az EA közös politikai nyilatkozata.

Általános elvek

Mindenfajta mérés célja a *mérendő mennyiség*, azaz a mérés tárgyát képező konkrét mennyiség értékének a meghatározása. A mérésnek ezért a mérendő mennyiség megfelelően részletes leírásával, az alapvető mérési módszer funkcionális modell formájában történő kiválasztásával és a kapcsolódó mérési eljárás kiválasztásával kell kezdődnie.

Általában semmiféle mérés vagy vizsgálat nem végezhető el tökéletesen pontosan, és a mérési eljárás tökéletlenségei növelik az eredmény hibáját. Ebből következik, hogy a mérés eredménye, a legjobb esetben is csupán közelítése a mérendő mennyiség valódi értékének, és megadása csak akkor teljes, ha a mért értéket az ennek a közelítésnek a bizonytalanságára vonatkozó megállapítás kíséri.

Az eredményben fellépő hibákat úgy gondolhatjuk el, hogy azok két forrásból erednek: a *véletlen összetevő* az ismételt mérésekben fellépő ingadozásokból, a *rendszeres összetevők* pedig a rendszeres eltérésekre vonatkozó tökéletlen korrekciókból. A mérési bizonytalanság értékelése ezért minden konkrét esetben magába foglalja ezeknek az összetevőknek az azonosítását, mennyiségi meghatározását (idegen szóval: kvantifikálását) és kombinálását.

Amikor a mérést névlegesen ugyanazon feltételek mellett megismételjük, a különböző forrásokból származó ingadozások véletlen hatásai befolyásolják a mért értéket. A mérési sorozat ezért az *átlagérték* körül eloszló értékek szóródását hozza létre. A véletlen hatásokat nem lehet korrekciós tényezőkkel kiküszöbölni, de az átlagérték általuk okozott bizonytalansága az észlelések számának növelésével csökkenthető.

További hibák származnak a rendszeres hatásokból, azaz olyan mennyiségeknek a mérési eredményre gyakorolt hatásából, amelyek ugyan nem szerepelnek a mérendő mennyiség eredeti specifikációjában, de befolyásolják a mérés eredményét. Ezek a hibák a mérések azonos feltételek mellett történő megisméltésekor változatlanok maradnak, és hatásuk eltérést okoz a mérendő mennyiség feltételezett valódi értéke és a kísérleti úton meghatározott átlagértéke között. A rendszeres hibák korrigálhatók, de a korrekció értékében bizonyos maradó bizonytalanság léphet fel.

A fentiekben meghatározott hibaforrások véletlen hibákra és rendszeres hibákra történő szétválasztását nem szabad mereven alkalmazni. Az ISO Útmutatója [1] a bizonytalanság-összetevőket *értékelésük módja* szerint csoportosítja az "A-típusú" illetve a "B-típusú" kategóriába. Ez a csoportosítás, amely inkább az értékelés módján, semmint magukon az összetevők tulajdonságain alapul, abból a felismerésből indul ki, hogy a merev szétválasztás indokolatlan, sőt gyakran megvalósíthatatlan. Az egyik mérés valamelyik "véletlen" bizonytalanság-összetevője ugyanis "rendszeressé" válhat egy azt követő másik olyan mérésben, amelynek az egyik mérés eredménye bemenő adat. A mérőeszköz kalibrálási bizonyítványában közölt bizonytalanság például véletlen hatásokból eredő összetevőt is foglal magába, de amikor ezt a teljes értéket ezt követően az ezzel a mérőeszközzel végzett vizsgálat bizonytalanságának értékelésekor használják fel, akkor ez az összetevő rendszeresnek tekinthető.

A *bizonytalanság A-típusú értékelése* az ismételt észlelések sorozataiból statisztikai számítással történik. Ezeknek az észleléseknek a statisztikailag becsült szórását *standard bizonytalanságnak*

nevezik. A bizonytalanság B-típusú értékelése az A-típusúnál alkalmazottól eltérő eszközöket használ fel. A bizonytalanságforrásokra vonatkozó ismeret például eredhet a kalibrálási bizonyítvány adataiból, korábbi mérések adataiból, a mérőeszköz tulajdonságaival kapcsolatos tapasztalatokból, a gyártó által adott specifikációból és más alkalmas információból. A B-típusú összetevőket ugyancsak a becsült szórásokkal jellemzik, amelyek az úgynevezett *érzékenységi tényezővel* megszorozva B-típusú standard bizonytalanságokká lesznek.

Az A-típusú és B-típusú bizonytalanság-összetevőket úgy kombinálják, hogy a bizonytalanságnak a mérési eredményhez társítandó, kombinált értéke álljon elő, amit *eredő standard bizonytalanságnak* neveznek.

Ahhoz, hogy kielégítsék az ipari, a kereskedelmi, az egészségügyi és biztonsági valamint egyéb alkalmazások igényeit, az eredő standard bizonytalanságot rendszerint *kiterjesztett bizonytalansággá* kell átalakítani (konvertálni), ami úgy érhető el, hogy az eredő standard bizonytalanságot megszorozzák a "k" *kiterjesztési tényezővel*. A kiterjesztett bizonytalanság a mérési eredmény körüli szélesebb tartományt határoz meg, mint az eredő standard bizonytalanság, következésképpen nagyobb a valószínűsége annak, hogy a mérendő mennyiség értéke ezen a nagyobb tartományon belül fekszik.

Bizonytalanságforrások

A bizonytalanság értékelésének egyik legfontosabb szempontja az, hogy részletesen meg kell ismerni a mérési folyamatot, és ebből az összes lehetséges bizonytalanságforrást. A bizonytalanságforrások azonosítása a mérési folyamat részletes megvizsgálásával kezdődik. A vizsgálatban fellépő sokféle lehetséges bizonytalanságforrás közül a következők némelyike vagy többsége rendszerint hozzájárul a bizonytalansághoz:

- a vizsgálat nem teljes meghatározása; ami azt jelenti, hogy a követelmények nincsenek világosan leírva;
- a vizsgálati eljárás definíciójának tökéletlen megvalósítása. Még ha a vizsgálati feltételek világosan vannak is meghatározva, előfordulhat, hogy a feltételeket nem lehet tökéletesen megvalósítani;
- a hibáknak a mérési folyamatot befolyásoló környezeti feltételekre gyakorolt hatásának nem tökéletes ismerete;
- a környezeti feltételek pontatlan mérése;
- a vételezett a minta nem igazán reprezentatív;
- személyi torzítás az analóg mérőeszközök leolvasásában (parallaxis hiba);
- a mérőeszköz felbontása, a diszkriminációs küszöb, vagy a skála beosztásának hibái;
- az etalonoknak (mind a referencia, mind a használati etalonoknak) és az anyagmintáknak tulajdonított értékek;
- a legutóbbi kalibrálás óta bekövetkezett változások a mérőeszköz jellemzőiben vagy működésében, a meghibásodások vagy a drift;
- az adatok értékeléséhez használt állandók, korrekciók és egyéb paraméterek értékében fellépő hibák;
- a mérési módszerrel és eljárással velejáró közelítések és feltételezések;
- a gyakorlatilag azonos feltételek mellett végzett, ismételt észlelésekben fellépő ingadozások. Ilyen véletlen hatásokat okozhatnak például a helyi környezetben, így a hőmérsékletben, a nedvességtartalomban és a légnyomásban bekövetkező rövid idejű ingadozások vagy a vizsgálatot végző személy teljesítőképességében tapasztalható ingadozások.

Nagyon fontos, hogy elkerüljük a bizonytalanság-összetevők "kétszeri számításba vételét". Ha egy bizonytalanság-összetevőt figyelembe vettünk az A-típusú értékelésnél, akkor azt nem szabad a B-típusú értékelésnél is figyelembe vennünk.

A fentebb felsorolt, egymástól nem feltétlenül független forrásokon kívül lehetnek más olyan rendszeres hatások is, amelyeket nem vettünk figyelembe, de amelyek ettől függetlenül hozzájárulnak a hibához. Ilyen hatások jelenlétére egyebek között a laboratóriumok közötti összehasonlítási programok eredményeinek vizsgálatából vagy egymástól különböző mérési eljárások alkalmazásával lehet következtetni.

Bizonyos vizsgálatok területén, - nevezetesen a kémiai minták elemzésénél, - az egyedi bizonytalanságforrásokat nem lehet a fentebb leírt módon könnyen azonosítani, mennyiségileg meghatározni és kombinálni. Ilyen esetekben a mérési bizonytalanság értékelését a vizsgálati módszer kidolgozása során szerzett adatok és a validálás tanulmányozása alapján kell elvégezni. Ebben az esetben a mérési bizonytalanságot magához a mérési módszerhez kell társítani, és nem lehet külön, minden esetben, az adott vizsgálat elvégzésekor értékelni.

A bizonytalanságok értékelésének általános megközelítése

Az ISO Útmutató (GUM) alapvető követelménye, hogy a bizonytalanság értékeléséhez egy mérési modellt kell használni. A modellnek magába kell foglalnia az összes olyan mennyiséget, amely jelentősen hozzájárul a vizsgálati eredményhez társított bizonytalansághoz. Vannak azonban olyan körülmények, amelyek között a részletes modell kidolgozásához szükséges erőfeszítések szükségtelenek.

A bizonytalanságjegyzék kidolgozásának korai szakaszában a mérési folyamatot egy függvénykapcsolattal kell modellezni. Ennek azonosítania kell az összes mért bemenő mennyiséget, amelyeket végül kombinálni kell ahhoz, hogy megkapjuk a kimenő mennyiség (más szóval: a mérendő mennyiség) értékét, és azt is meg kell mutatnia, hogyan történjen azok kombinálása. A függvénykapcsolatnak jeleznie kell azt is, ha bizonyos bemenő mennyiségek korreláltak, bár ez a vizsgálatoknál csak viszonylag ritkán fordul elő. Általában az y kimenő mennyiség és az x_i bemenő mennyiségek közötti függvénykapcsolat a következő alakot ölti:

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_n).$$

A vizsgálatok keretében végzett méréseknél a függvénykapcsolat általában viszonylag egyszerű, és gyakran maga a vizsgálati eljárás képezi a modell alapját. A függvénykapcsolat leggyakoribb formája a mérések lineáris kombinációja, amikor

$$y = (c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n),$$

ahol az *érzékenységi együtthatónak* nevezett c_i tényezők olyan ismert értékek, mint például a hőtágulási együttható vagy a $\partial f / \partial x_i$ parciális derivált.

A villamos mérések területéről vett példában az R ellenállás a V feszültség és az I áramerősség segítségével mérhető a következő összefüggés alapján

$$R = f(V, I) = V/I,$$

vagy a P teljesítmény az I áramerősség és az R ellenállás segítségével mérhető a következő összefüggés alapján:

$$P = f(I, R) = I^2 R.$$

Az eredő mérési bizonytalanság az összes bizonytalanság-összetevő kombinálásával adódik. Mivel minden egyes mérőeszköz-leolvasást vagy mérést számos tényező befolyásolhat, a vizsgálat keretében végzett minden egyes mérést gondosan figyelembe kell venni, hogy a bizonytalansághoz hozzájáruló összes tényező azonosítható és jegyzékbe vehető legyen. Ez az első és legfontosabb lépés a mérőberendezésnek, a vizsgálat elvének és a környezet befolyásának alapos ismeretét követeli meg.

Miután már azonosítottuk a bizonytalanság-összetevőket, a következő lépés azok megfelelő eszközökkel történő mennyiségi meghatározása. Hasznos lehet egy kezdeti, közelítő meghatározás, ami lehetővé teszi azoknak az összetevőknek a kiválasztását, amelyek nem járulnak hozzá jelentős mértékben az eredő mérési bizonytalansághoz, és amelyeket ezért nem érdemes túl szigorúan értékelni. A legtöbb esetben a "jelentéktelennek minősítés" gyakorlati kritériuma az lehet, ha az adott bizonytalanság-összetevő nem nagyobb, mint a legnagyobb összetevő egyötöde.

A számítások egyszerűsége érdekében minden bizonytalanság-összetevőt azonos módon kell kifejezni, azaz vagy ugyanolyan egységben, mint amilyenben a közölt eredményt fogjuk megadni, vagy a mérendő mennyiség valamilyen hányadaként (százalékban, milliomodrásban, stb).

Az "A-típusú" értékelési módszer

Ha egy adott mintán vagy több azonos mintán egy sor vizsgálatot végzünk azonos feltételek mellett, akkor különböző okok folytán, amilyenek például az elektromos vagy termikus zaj, a rezgések stb, a mérési eredmények különbözni fognak egymástól, és az átlagérték körül oszlanak el. Az ilyen hatás az *A-típusú* értékeléssel számítható ki. Ezt úgy is mondhatjuk, hogy a véletlen hatást statisztikai módszerrel kell értékelni.

Az "n" számú mérést állandó vizsgálati feltételek mellett kell elvégezni. Általában feltételezhető, hogy az értékek normális eloszlást fognak követni. A szórás a mért értékekből a következőképpen számítható ki:

1. El kell végezni a mért értékekre vonatkozó minden korrekciót:

$$x_i = (\text{korrigált észlelési eredmény})$$

2. Ki kell számítani a korrigált észlelési eredmények átlagát úgy, hogy összegezzük azokat, majd elosztjuk az eredmények "n" számával. A korrekciót itt kell alkalmazni, ha korábban még nem történt meg:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

3. Ezt az átlagértéket ki kell vonni minden mérési x_i eredményből, hogy előálljanak az eltérések

$$\text{eltérés} = (x_i - \bar{x}).$$

4. Négyzetre kell emelni az összes eltérést, összegezni kell az eltérések négyzeteit, és el kell osztani az eredmények 1-gyel csökkentett számával, azaz $(n-1)$ -el. Ezt az eredményt *tapasztalati varianciának* hívják.

$$V = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{(n-1)}$$

5. Képezni kell a pozitív négyzetgyököt, hogy megkapjuk a mérési eredmények készletének becsült szórását.

$$s = \sqrt{V}.$$

Az s becsült szórás az x véletlen változó teljes halmaza $\sigma(x)$ szórásának az n eredményből álló korlátozott mintán alapuló becslése.

Ha az ügyfél számára végzett vizsgálat olyan, amelyet a laboratórium *nem rendszeresen végez*, akkor ezt, mint bizonytalanság-összetevőt, az adott vizsgálat részeként kell értékelni. A laboratóriumok azonban, rendszeresen, lényegében azonos jellegű vizsgálatokat végeznek, vagyis ugyanazt a berendezést hasonló feltételek mellett használják. Ilyen körülmények között a vizsgálatok egy speciális sorozatára szokták meghatározni ezt a bizonytalanság-összetevőt, amelyről feltételezhető, hogy az összes hasonló vizsgálat esetében változatlanul használható lesz.

Az A-típusú értékeléskor az elvégzett mérések számának elég nagyoknak, legalább 10-nek kell lennie ahhoz, hogy megfelelően lehessen jellemezni a szórást.

Ha a laboratórium csak egyetlen mérést végez az ügyfél számára, a standard bizonytalanság-összetevőjeként akkor is a fenti szórást kell alkalmazni.

Ha egy vizsgálatnál csak kevés számú, n' mérést végzünk (tipikusan hármat) és eredményként ennek a három mérésnek az átlagát közöljük, akkor az előzetes kísérlettel meghatározott szórást el kell osztani az ügyfél számára végzett mérések n' számának a négyzetgyökével ahhoz, hogy megkapjuk az *átlagérték (számtani közép) tapasztalati szórását*.

$$u_x = \frac{s}{\sqrt{n'}}$$

Abban az esetben, ha nincs lehetőség nagy számú ismételt észlelésre, előfordulhat, hogy a rendelkezésre álló észlelési eredményekből számított szórást jelentősen alábecsüljük. Ha van egy egyedüli vagy tisztán domináns bizonytalanságforrás, akkor a kiterjesztési tényezőt a feltételezett normális eloszlás helyett inkább a Student-"t" eloszlásnak megfelelően kell megválasztani (lásd a Függelékben közölt táblázatokat!).

A "B-típusú" értékelési módszer

A B-típusú értékelésnél a következő információk állhatnak rendelkezésre:

- a kalibrálási bizonyítványból vett adatok;
- a gyártói specifikációk;
- a kézikönyvekből vett referenciaadatok bizonytalanságai;
- korábbi mérések adatai;
- a megfelelő anyagok és eszközök viselkedésére és tulajdonságaira vonatkozó tapasztalatok és általános ismeretek.

A B-típusú értékelésnél a bizonytalanság összetevők meghatározásának első lépése az egyes összetevők egyenértékű szórásának a meghatározása, bármilyen forrásból származzanak is az összetevők.

A vizsgálat során elvégzett mérésben alkalmazott mérőeszköz kalibrálási bizonyítványa tartalmazza a kalibrált értéket plusz a mérési bizonytalanságot annak konfidenciaszintjével, vagy az alkalmazott kiterjesztési tényező értékével együtt. Széles mérési tartományú mérőeszközök esetében szükség lehet arra, hogy az egyes leolvasásokhoz vagy mérési tartományokhoz külön-külön meghatározzuk a mérési bizonytalanságot. Ha nincs másképpen megadva, akkor azt kell feltételezni, hogy a bizonytalanság normális eloszlású. Ekkor a megadott 95 %-os konfidenciaszint $k = 2$ kiterjesztési tényezőnek felel meg. A 99,7 %-os vagy magasabb konfidenciaszinthez $k = 3$ kiterjesztési tényező tartozik. Ha a kiterjesztési tényező nincs megadva, akkor azt kell feltételezni, hogy az alkalmazott kiterjesztési tényező $k = 2$ volt. Az ebből a forrásból származó standard bizonytalanságot úgy kapjuk meg, ha a megállapított vagy kiszámított bizonytalanságot elosztjuk a kiterjesztési tényezővel.

A gyártónak a mérőeszközre kiadott specifikációja gyakran tartalmaz számértékeket azok magyarázata nélkül. Általában feltételezhető, hogy ezek a számjegyek azokat a határokat jelentik, amelyeken belül a mérőeszközt beállították vagy ellenőrizték. Feltételezhető továbbá, hogy a specifikációban az egyenletes eloszlást alkalmazták, ami azt jelenti, hogy a megadott határokon belül minden érték egyforma valószínűségű. Több más bizonytalanságforrást is, amelyeknek az eloszlásáról nincs ismeretünk, úgy lehet kezelni, mintha egyenletes eloszlásúak lennének, ésszerűen kijelölve azokat a határokat, amelyeken kívül a bizonytalanság-összetevő feltehetően már nem felel meg. Az olyan befolyásoló mennyiségek hatása, mint a hőmérséklet, vagy a mérés digitalizálásából eredő bizonytalanság (például egy digitális voltmérő leolvasásáé) gyakran ugyanilyen módon kezelhető. A "félszélesség" a lehetséges értékek becsült teljes tartományának a fele. Az egyenletes eloszlás egyenértékű szórását az egyenletes eloszlás félszélessége adja meg, elosztva $\sqrt{3}$ -mal.

Ezt egy példával szemléltetve:

A gyártónak a mérőeszközre kiadott specifikációja szerint a mérőeszköz pontossága $\pm 1\%$. Feltételezhető, hogy ez a mérőeszköz hibahatárainak az értéke, és hogy minden lehetséges hibaérték ezeken a határokon belül egyforma valószínűségű (egyenletes eloszlású). A standard bizonytalanság:

$$u(x) = \pm(1/\sqrt{3})\% = \text{a leolvasott érték } 0,58\%-a$$

(Jóllehet az utolsó 8-as számjegy nem értékelhető, helyesebb gyakorlat ezt biztonsági számjegyként megtartani, mint a bizonytalanságot $\pm 0,6\%$ -ra kerekíteni.)

Az aszimmetrikus bizonytalanság kivételes esete (ilyen lehet például, ha a kezelőszemély vernier mikrométert használ, amikor is a hiba rendszerint inkább pozitív, mint negatív) úgy kezelhető, hogy az eredmény kiszámításához az alsó és a felső határok átlagát mint mért értéket, a különbség felét pedig mint szimmetrikus félszélességet használjuk.

A normálistól és az egyenletestől eltérő bizonytalanság-eloszlások is lehetségesek, de nem gyakoriak. A nagyfrekvenciás villamos méréseknél például az impedancia illesztetlensége "U-alakú" bizonytalanság-eloszláshoz vezethet, amelynél a határokhöz közeli bizonytalanságok valószínűbbek, mint a közbülső értékek. Ilyen esetekben a félszélességet $\sqrt{2}$ -vel el kell osztani ahhoz, hogy megkapjuk a standard bizonytalanságot. Háromszög-eloszlás esetében az osztó értéke $\sqrt{6}$.

A standard bizonytalanság, $u(x)$

A standard bizonytalanság mint "egyszeres szórás" van definiálva. Ahhoz azonban, hogy az értékelés magasabb szintjén a félreértések elkerülhetők legyenek, nem ritkán szükséges lehet az *A-típusú* becsült szórás értékeit és más *B-típusú* szórásokat megszorozni az érzékenységi együtthatóval annak érdekében, hogy ugyanabban a mértékegységben legyenek kifejezhetők, vagy hogy más tényezők is figyelembe vehetők legyenek a bemenő mennyiségek és a kimenő mennyiség közötti függvénykapcsolatban.

Ha a vizsgálat eredménye a mért mennyiséggel arányos vagy fordítottan arányos, akkor, mint fentebb már említettük, a standard bizonytalanság-összetevő az érzékenységi együtthatóval súlyozott szórással lesz egyenlő. Példaként tekintsük a feszültség leolvasásával arányos áramerősség mérését, és a sebesség mérését, ami fordítottan arányos a jelek közötti áthaladás idejével.

$$\begin{aligned} \text{Ha az áramerősség} &= \text{feszültség/ellenállás,} \\ \text{akkor } u(\text{áram}) &= \text{állandó } \times s(\text{feszültség}) \end{aligned}$$

$$\text{Ha a sebesség} = \text{távolság/idő, akkor } u(\text{sebesség}) = \text{állandó } \times s(\text{idő})$$

Itt és a további példákban u a bizonytalanság-összetevőnek, s a korrigált tapasztalati szórásnak a jele.

Ha a vizsgálat eredménye a mért mennyiség hatványával arányos, akkor a járulék standard bizonytalansága a mennyiségnek a hatványkitevővel megszorított szórásával egyenlő. Egy anyagminta keresztmetszete arányos a mért átmérője négyzetével, és ennek a keresztmetszeti felületnek a standard bizonytalansága az átmérő szórásának a kétszerese.

$$\text{Ha a felület} = \text{állandó } \times (\text{átmérő})^2, \text{ akkor } u(\text{felület}) = \text{állandó } \times 2 \times s(\text{átmérő})$$

Bizonyos összetevők kölcsönösen függhetnek egymástól, és kiolthatják vagy erősíthetik egymást. Adott körülmények között az ilyen összetevőket algebrailag lehet összegezni, és így lehet előállítani a „tisztá” értéket. (Vannak szigorúbb matematikai módszerek is az ilyen "korrelált" összetevőkre, és ezeket speciális esetekben alkalmazni is kell. Számos célra azonban ezeknek az összetevőknek elfogadható becslését adja az algebrai összegzés). Óvatosan kell eljárni abban az esetben, amikor az összetevők kioltják egymást, mert az egyik összetevőben fellépő kis változás ilyenkor lényegesen nagyobb különbségekhez vezethet. Például egy mintadarab mért geometriai mérete igen érzékeny lehet a hőmérséklet instabilitásával szemben, ha ugyanolyan anyagból készült mérőeszközt használunk.

A standard bizonytalanság az egyszeres szórással egyenlő, megszorozva a megfelelő érzékenységi tényezővel (lásd a példát!)

$$u(x_j) = c_j \cdot s(x_j).$$

Az eredő standard bizonytalanság, $u_c(x)$

A bizonytalanság-összetevőket kombinálni kell ahhoz, hogy megkapjuk a mérés eredő bizonytalanságát. Míg a kombinálás módszerének kiválasztását bizonyos esetekben külön meg kell fontolni, az általános megközelítés az, hogy a standard bizonytalanság-összetevők négyzeteinek összegéből négyzetgyököt kell vonni (az eljárás az angol szakirodalomban RSS-módszer néven ismert). A művelet egyszerűsödik, ha minden standard bizonytalanságot ugyanabban a mértékegységben fejezünk ki.

$$u_c(y) = [u(x_1)^2 + u(x_2)^2 + \dots]^{1/2}$$

Az egyszerű algebrai összegzés helyett az RSS módszer alkalmazása tekintetbe veszi annak a valószínűségét is, hogy egy vizsgálat során nem minden bizonytalanság összetevő azonos előjelű.

A kiterjesztett bizonytalanság, U

A vizsgálati eredmények harmadik féllal való közlésekor a legtöbb esetben szükség van arra, hogy a kiterjesztett bizonytalanságot adott konfidenciaszint mellett adjuk meg. Ez úgy értelmezhető, hogy a mérendő mennyiség valódi értéke az előírt bizonytalansággal megadott konfidencia intervallum belsejében fekszik, és előírt konfidenciaszinttel központosul a közölt értékre. Ezért *az eredő standard bizonytalanságot meg kell szorozni a megfelelő kiterjesztési tényezővel.*

$$U = k \cdot u_c(y)$$

Ennek tükröznie kell a kívánt konfidenciaszintet, és az esetek többségében az eredő standard bizonytalanságnak a normális eloszlást kell követnie. Így $k=2$ esetén a kiterjesztési tényező közelítőleg 95%-os konfidenciaszintű tartományt határoz meg. Kritikusabb alkalmazások esetén, a $k = 3$ értékű kiterjesztési tényezőt választva, 99,7%-os konfidenciaszintű tartományt kapunk.

Az ezektől eltérő esetekkel egyedileg kell foglalkozni, és azok az alábbiak közül az egyikkel vagy mindkettővel jellemezhetők:

- nincs elegendő számú olyan bizonytalanság összetevő, amelynek „jól viselkedő”, ismert valószínűség-eloszlása lenne, például normális vagy egyenletes;
- az eredő standard bizonytalanságban egy nagy összetevő dominál.

Óvatosnak kell lennünk akkor, ha a mérési eredmények egy széles értéktartományban fehetnek. Bizonyos bizonytalanság-összetevők ilyenkor a tartomány egészében állandóknak tekinthetők, mások azonban arányosak lehetnek a mért értékkel. Ilyen körülmények között szükség lehet arra, hogy a bizonytalanságot a tartomány alsó és felső határánál is meghatározzuk, és azt követően interpoláljuk a bizonytalanság értékét a konkrét esetre. Bonyolultabb esetekben szükség lehet arra, hogy a számításba vehető értékek tartományát résztartományokra osszuk, és a bizonytalanságot az egyes résztartományokra külön határozzuk meg.

A bizonytalanságbecslés lépéseinek áttekintése

A következőkben rövid áttekintést adunk a bizonytalanság becslésének általános, az esetek többségében alkalmazható eljárásáról. A folyamat legfontosabb része a bizonytalanság-összetevők azonosítása. Vizsgálatoknál a bizonytalanság kiszámítása rendszerint nagy számú összetevő *B-típusú* értékelését foglalja magába. Ebből következik, hogy ritkán igazolható túl nagy erőfeszítéseket tenni annak érdekében, hogy a vizsgálat bizonytalanságának pontos becslését kíséreljük meg.

A szóban forgó lépések a következők:

- 1) listázzuk az összes olyan mennyiséget, amely befolyást gyakorolhat a mért értékekre;
- 2) becsüljük meg előzetesen a bizonytalanság-összetevők értékét és szabjunk meg egy határértéket a nem jelentős járulékokra;
- 3) becsüljük meg az összes szignifikáns bizonytalanság-összetevő értékét. Mindegyik összetevőt ugyanolyan módon fejezzük ki (azaz vagy ugyanolyan mértékegységben, vagy százalékosan, stb.) egyszeres szórás szintjén;
- 4) konvertáljuk a standard bizonytalanságokat, alkalmas esetben az érzékenységi tényező segítségével;
- 5) vizsgáljuk meg a bizonytalanság-összetevőket, és döntsük el, melyek függenek kölcsönösen egymástól, ha vannak ilyenek, és nézzük meg, hogy van-e közöttük domináns összetevő;
- 6) a kölcsönösen függő tényezőket összegezzük algebrailag, azaz vegyük figyelembe, hogy azok egyirányban vagy ellentétes irányban hatnak-e, és ez által származtassunk le egy tiszta standard bizonytalanság értéket;
- 7) vegyük a független összetevők standard bizonytalanságait és az összes származtatott tiszta összetevőt, és ha nincs közöttük domináns tényező, számítsuk ki a négyzeteik összegének a négyzetgyökét, hogy így előállítsuk az eredő standard bizonytalanságot;
- 8) az eredő standard bizonytalanságot szorozzuk meg egy, a kívánt konfidenciaszintnek megfelelő k kiterjesztési tényezővel, hogy megkapjuk a kiterjesztett bizonytalanságot. Ha a szabványban vagy az ügyfél által nincs egy konkrét konfidenciaszint megadva, akkor a kiterjesztési tényezőnek rendszerint $k = 2$ -nek kell lennie, mi közelítőleg 95%-os konfidenciaszintnek felel meg.

Az eredmények megadásának módja

Általános megközelítés

Határozzuk meg az értékes jegyek számát, amellyel a kiterjesztett bizonytalanságot kívánjuk megadni. A bizonytalanság becslésével rendszerint együtt járó feltételezések és közelítések folytán ez vagy ritkán, vagy sohasem haladja meg a két értékes jegyet. A kiterjesztett bizonytalanságot kerekítsük fel a megtartandó utolsó értékes jegy értékéig. A vizsgálati eredményt ugyancsak kerekítsük fel a legközelebbi legutolsó értékes jegyig.

Egy vizsgálat eredményének és bizonytalanságának közlésekor az adott információ mértéke általában az ügyfél igényeitől vagy az eredmény szándékolt felhasználásától, vagy mindkettőtől függ. Még, ha a jegyzőkönyvvel szemben nem is követelmény, helyes az a gyakorlat, ha a következő információk vagy egy külön jelentésben, vagy a vizsgálati jegyzőkönyvben megtalálhatók:

- a) az eredmény és a bizonytalanság kiszámításához alkalmazott módszerek;
- b) a bizonytalanság összetevők jegyzéke és megfelelő leírás az értékelésük módjáról, azaz az összetevők becsléséhez felhasznált adatforrások és valamennyi feltételezés rögzítése;
- c) az adatelemzés lépéseinek és számításainak elégséges dokumentálása, ami szükség esetén lehetővé teszi a számítások ismételt elvégzését;
- d) az elemzés során alkalmazott állandók és korrekciók, valamint azok forrásai.

Hacsak nincs szabványban vagy az ügyfél részéről másképp előírva, a mérési eredményt a megfelelő 95%-os konfidenciaszintre vonatkozó bizonytalansággal együtt kell megadni a következő módon:

Mért érték	100,1 (egység)
Bizonytalanság	$\pm 0,1$ (egység)

Különleges esetek

Kivételes esetekben, amikor egy konkrét tényező vagy tényezők befolyásolhatják az eredményeket, de annak nagysága vagy nem mérhető vagy nem értékelhető, akkor egy külön nyilatkozatnak kell erre a tényre utalnia, például a következő módon:

"A közölt kiterjesztett bizonytalanság a $k=2$ kiterjesztési tényezővel megszorozott standard bizonytalanság, ami közelítőleg 95%-os konfidenciaszintet biztosít, de nem veszi figyelembe a ... hatását"

Amikor a többféle hozzájárulásból származó standard bizonytalanságokat kombináljuk, akkor kimutatható, hogy az eredő standard bizonytalanság eloszlása az egyes járulékok eloszlásától függetlenül a normális (vagy Gauss-féle) eloszláshoz tart. Példaként említjük, hogy három azonos egyenletes eloszlás összege jó közelítéssel normális eloszlású, és állíthatjuk, hogy $k = 2$ kiterjesztési tényező mellett a kiterjesztett bizonytalanság konfidenciaszintje 95%. Jól viselkedő eloszlások esetén (amilyen például a normális, az egyenletes és az U-alakú eloszlás), ha azok hasonló maximális értékkel rendelkeznek, a kiterjesztett bizonytalansághoz ugyanolyan konfidenciaszint társítható, mint a normális eloszláshoz.

Az itt leírt bizonytalanságbecslési módszer minden esetben alkalmazható és érvényes, beleértve azt is, amikor van egy domináns összetevő. Ilyenkor az eredő standard bizonytalanságot ennek a domináns összetevőnek a szórásából határozzuk meg (ha a kisebb összetevők teljes mértékben elhanyagolhatók), és a kiterjesztett bizonytalanság, definíció szerint, ennek a k -szorosa. Ha

azonban a domináns összetevő eloszlása nem tart a normális eloszláshoz, akkor nem jogos azt feltételezni, hogy a kiterjesztett bizonytalanság ($k=2$ esetében) 95%-os konfidencia intervallumnak felel meg. A kiterjesztett bizonytalanság néha valószerűtlenül nagy is lehet. Például egy "a" félszélességű egyenletes eloszlás (minden y érték egyenlő valószínűségű $y-a$ és $y+a$ között) szórása $a/\sqrt{3}$, és $k = 2$ esetében a kiterjesztett bizonytalanság $\pm 2a/\sqrt{3} = \pm 1,15a$. Ez 15%-kal nagyobb, mint a lehetséges hiba ismert határa. Így, amikor egy domináns bizonytalanság járulék lép fel, nem a mindig érvényes kiterjesztett bizonytalanság kiszámítása a gond, hanem az a hatás, amit a bizonytalanság eloszlása gyakorolhat a vizsgálati eredmények értelmezésére; például annak az eldöntésére, hogy egy specifikáció teljesül-e vagy sem.

A domináns bizonytalanság-összetevő kritériuma gyakran az lehet, ha ez az összetevő háromszor akkora, mint a következő legnagyobb összetevő. Ez a kritérium azonban feltehetően nagyon gyenge, és ajánlatos további megfontolásokat tennünk, ha a legnagyobb összetevő több mint kétszerese a rákövetkező legnagyobb összetevőnek.

Ha tudjuk, hogy a domináns összetevő normális vagy azzal közelíthető eloszlású, akkor nincs szükség további megfontolásokra. Ez az eset áll fenn, ha a domináns összetevő az *A-típusú* értékelésnél lép fel.

Ha egy egyedüli domináns összetevő nem közelítőleg normális eloszlású, akkor a helyes gyakorlat a vizsgálati eredmények megadását egy megjegyzéssel kiegészíteni:

"A közölt kiterjesztett bizonytalanság a $k=2$ kiterjesztési tényezővel megszorozott standard bizonytalanság, ami legalább 95%-os konfidenciaszintet biztosít. A bizonytalanság eloszlása közelítőleg [egyenletes] [U-alakú] [stb]. Ezt a jelen vizsgálat eredményének értelmezésénél figyelembe kell venni."

A specifikációnak való megfelelés értékelésekor a bizonytalanság eloszlásának nincs hatása, ha a bizonytalanság nem jelentős és elhanyagolható. Ha a specifikáció azt írja elő, hogy az adott konfidenciaszinten a bizonytalansággal kiterjesztett mérési eredmény nem eshet kívül az előírt átvételi határokon, akkor tovább kell finomítani az értékelésben felhasználandó bizonytalanság értékét.

Dönteni kell a domináns összetevő eloszlását illetően. A bizonytalanság-összetevők eloszlása, ha nem közelít a normális eloszláshoz, általában egyenletes eloszlásnak tekinthető. Ha a specifikáció megköveteli, akkor becsüljük meg az igényelt konfidenciaszinten a konfidenciahatárokat, vagy egyenletes eloszlás esetén használjuk a félszélességet, mint a bizonytalanság alkalmas határát. Ezt a bizonytalanság értéket használjuk a vizsgálati eredménnyel együtt annak a meghatározására, hogy az utóbbi kielégíti-e a specifikációt vagy sem.

Ha a vizsgálati eredmény közlésének része a megfelelés vagy nem-megfelelés megállapítása, akkor a helyes gyakorlat a bizonytalansághatárokat egy megjegyzéssel kiegészíteni, ami megadja azokat a bizonytalansághatárokat, amelyeket az értékeléskor használtunk, ha azok különböznek a kiterjesztett bizonytalanságtól.

Minden olyan bizonytalanságot, ami abból ered, hogy a minta nem teljesen reprezentatív az egészre nézve, rendszerint kihagynak a mérési bizonytalanság értékeléséből. Előfordulhat azonban, hogy ennek a megtételéhez nincs elegendő információ, és ebben az esetben ezt a

bizonytalanság megadásakor közölni kell. Lehetnek olyan speciális esetek, amikor meg kell adnunk a minták közötti különbségekből származó bizonytalanságot. Az ilyen eseteket egyedileg kell megvizsgálni annak érdekében, hogy a kívánt érték meghatározásának alkalmas eljárását kiválaszthassuk. Ha a laboratórium felelős a minták elkészítéséért, akkor ahhoz a szabványban előírt vagy dokumentált eljárást kell alkalmaznia. Ha az ügyfél úgy kívánja, akkor meg kell határozni a vizsgálati értékek minták okozta szóródását.

Következtetések

Ez a cikk a vizsgálatok minden területére megalapozza a mérési bizonytalanság értékelését. Nem ad és nem is adhat útmutatást a különleges esetekre. Például, egy vizsgálati területen a bizonytalansághoz hozzájáruló hatások változhatnak a vizsgálatokhoz alkalmazott készüléktől függően is, és nagyságuk függni fog attól is, ahogyan a készüléket használják. A példák hasznosak lehetnek az elvek megértésében, de nem helyettesítik a minden esetben szükséges mélyebb megfontolásokat.

Bár az itt körvonalazott módszerek a vizsgálatok többségénél alkalmazhatók, adott esetekben egy sor feltevésre lehet szükség. Ezeket a feltevéseket a bizonytalanság kiszámításakor mindig észben kell tartanunk, és ha azok nem bizonyulnak alkalmazhatónak, akkor más előíráshoz kell fordulni ahhoz, hogy a követendő eljárást megtaláljuk.

Az ebben a cikkben alkalmazott feltevések, amelyek lehetővé teszik az egyszerűsített eljárások követését, a következők:

- a) az eredő bizonytalanság az összetevők kombinálásával adódik,
- b) minden jelentős összetevőt sikerült azonosítani;
- c) az összes bizonytalanság-összetevő, bármilyen forrásból származzon is, megfelelő pontossággal standard bizonytalansággá konvertálható;
- d) a bizonytalanság-összetevők statisztikailag függetlenek, kivéve azt, amikor a kölcsönös függésükre vonatkozó engedmények vannak;
- e) ha a bizonytalanság-összetevők kölcsönösen függenek egymástól, akkor hatásuk az összetevők számtani közepével van figyelembe véve, ami mint egy független összetevő kezelhető;
- f) az RSS módszerrel való összegzés módszere olyan eloszláshoz vezet, amely közel van a normálishoz, úgyhogy az eredő bizonytalanságot egy kiterjesztési tényezővel megszorozva előáll egy közelítőleg ismert konfidenciaszintű kiterjesztett bizonytalanság;
- g) a bizonytalanságnak nincs olyan domináns összetevője, amelynek az itt vázolt egyszerűsített módszerekkel nem kezelhető valószínűség-eloszlása lenne.

Ajánlott és felhasznált irodalmak jegyzéke

- 1) BIPM, IEC, IFCC, ISO, IUPAC, IUPAP, OIML *Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement*, ISO, Genf, Svájc. Első kiadás 1993, korrigált újranyomás 1995.
- 2) Stephanie Bell: *Measurement Good Practice Guide No. 11, A beginner's Guide to Uncertainty of Measurement*, NPL, 1999.
- 3) BIPM, IEC, IFCC, ISO, IUPAC, IUPAP, OIML VIM, ISO (1993), *International vocabulary of basic and general terms in metrology*, ISO, Genf, második kiadás 1993
- 4) ISO 3534-1993, *Statistics - Vocabulary and symbols*, ISO, Genf.
- 5) EA 4/02, *Expression of the Uncertainty of Measurement in Calibration*, 1999 december, European co-operation for accreditation.

Fogalomgyűjtemény

Ez a fogalomgyűjtemény megadja a szövegben használt egyes fogalmak és szavak értelmezését. Többségük pontos és szigorú meghatározása megtalálható az *Útmutatóban* (The Guide) [1], az *International vocabulary of basic and general terms in metrology*-ban (A metrológia alapvető és általános fogalmainak értelmező szótárában) [3] és az irodalomjegyzékben felsorolt más dokumentumokban. A szövegben előforduló egyes fogalmak meghatározását a hivatkozás megkönnyítése érdekében itt is megismételjük.

pontosság

a mérési eredmény és a valódi érték közelségének szorossága. Mivel a valódi érték ismeretlen, a pontosság nem számszerűsíthető.

mérési hiba

a mérés eredménye mínusz a mérendő mennyiség valódi értéke, (nem határozható meg pontosan, mert a valódi érték a bizonytalansági tartományon belül ismeretlen).

kiterjesztett bizonytalanság

a mérési eredmény körüli intervallum, amelyről feltételezhető, hogy a mérendő mennyiségnek tulajdonítható értékek eloszlásának előírt, nagy hányadát (pl. 95%-át) magába foglalja

valószínűség-eloszlás

függvény, amely megadja annak a valószínűségét, hogy egy véletlen változó felvesz egy bizonyos értéket vagy hogy egy értékészlethez tartozik.

egyenletes valószínűség-eloszlás

értékek eloszlása, amelyek egyenlő valószínűséggel lehetnek bárhol egy megadott tartományon belül.

érzékenységi tényező

tényező, amelyet arra használnak, hogy egy bemenő mennyiséget a kimenő mennyiség egységben fejezzenek ki: például a vizsgált anyag hőmérsékleti tényezője.

szórás

a variancia pozitív négyzetgyöke.

valódi érték

az a mennyiség-érték, ami tökéletes méréssel adódna.

A-típusú bizonytalanság értékelés

a mért értékek bizonytalanságának statisztikai módszerekkel végzett értékelése.

B-típusú bizonytalanság értékelés

egyedileg mért vagy becült értékek bizonytalanságának nem-statisztikai módszerekkel végzett értékelése.

bizonytalanság jegyzék

a bizonytalanságforrásoknak és azok nagyságának az összefoglalása abból a célból, hogy megadható legyen a mérés kiterjesztett bizonytalansága.

mérési bizonytalanság

a mérési eredményhez társított paraméter, amely a mérendő mennyiségnek tulajdonítható értékek szóródását jellemzi.

variancia

a mérési sorozat szóródásának a mértéke.

megbízhatósági tartomány

a mennyiségnek tulajdonítható értékek tartománya.

megbízhatósági valószínűség

a megbízhatósági tartományhoz társított valószínűség

bizonytalanságterjedés szabálya, LPU (law of propagation of uncertainty)

matematikai kifejezés, amely leírja az összefüggést egy kimenő mennyiség $u(y)$ standard bizonytalansága és azoknak a bemenő mennyiségeknek az $u(x_j)$ standard bizonytalanságai között, amelyektől a kimenő mennyiség függ.

valószínűség sűrűségfüggvény

nemnegatív függvény, amelynek a $-\infty$ -tól x -ig vett integrálja megadja a folytonos eloszlás x -nél kiszámított eloszlásfüggvényét.

A laboratóriumi gyakorlatban előforduló valószínűség sűrűségfüggvények: a normális, a standard normális eloszlás, a t -eloszlás, az F -eloszlás, a gamma, a khi-négyzet, az exponenciális, a béta, az egyenletes, a többváltozós normális és a kétváltozós normális eloszlás.

Ha az F eloszlásfüggvény folytonosan differenciálható, akkor a valószínűség sűrűségfüggvény $f(x) = dF(x)/dx$ azokban az x pontokban, amelyekben a derivált létezik. Az $F(x) = 3x^2 - 2x^3$ -tel definiált eloszlásfüggvény esetében, ahol $0 \leq x \leq 1$, a megfelelő valószínűség sűrűségfüggvény $f(x) = 6x(1-x)$, ahol $0 \leq x \leq 1$.

eloszlások terjedése

matematikai módszer, amelyet a kimenő mennyiség valószínűség sűrűségfüggvényének azoknak a bemenő mennyiségeknek a valószínűség sűrűségfüggvényeiből való meghatározására alkalmaznak, amelyektől a kimenő mennyiség függ.

A legjobb mérőképesség

Az EA-4/02 *A mérési bizonytalanság kifejezése kalibrálásnál* című útmutatójában olvasható meghatározás szerint a legjobb mérőképesség: *"a legkisebb mérési bizonytalanság, amit a laboratórium az akkreditált területén elérni képes, amikor a mértékegységet definiáló, megvalósító vagy reprodukáló, közel ideális etalon többé vagy kevésbé rutinszerű kalibrálását/vizsgálatát végzi, vagy amikor a mennyiség mérésére szolgáló közel ideális mérőeszköz többé vagy kevésbé rutinszerű kalibrálását/vizsgálatát végzi"*.

A legjobb mérőképesség egyike azoknak a paramétereknek, amelyeket egy akkreditált laboratórium képességének meghatározására használnak, és amit rendszerint az akkreditálási okirat megfelelő kísérő dokumentumában rögzítenek. Ez az egyik leglényegesebb információ, amit az akkreditált laboratóriumokról szóló címtárban közölnek, és ezt a laboratórium potenciális ügyfelei arra használják, hogy megítéeljék a laboratórium alkalmasságát egy adott mérés elvégzésére.

A "többé-kevésbé rutinszerű kalibrálás/vizsgálat" azt jelenti, hogy a laboratóriumnak az akkreditálás égisze alatt végzett, rendes munkája során ezt a képességet tudnia kell elérni. Lehetnek azonban olyan körülmények, amikor a laboratórium ennél többre is képes, például beható vizsgálatok vagy kiegészítő óvintézkedések eredményeképpen. Ezeket a körülményeket a legjobb mérőképesség fogalma nem fedi, hacsak a laboratórium politikája nem az, hogy *minden vizsgálati munka alkalmával* ilyen vizsgálatokat is végezzen. Ebben az esetben azonban ez már a laboratórium "többé vagy kevésbé rutinszerű" tevékenységévé válik.

A "közel ideális etalon" bevétele a meghatározásba azt jelenti, hogy a legjobb mérőképesség nem függhet a vizsgálandó mérőeszköz jellemzőitől, és a mérési bizonytalanságban csak minimális lehet a járuléka azoknak a fizikai hatásoknak, amelyek a vizsgálat alatt álló készülék tökéletlenségeinek tulajdoníthatók. Ez megköveteli, hogy ilyen készülék minden laboratóriumban ténylegesen rendelkezésre álljon. Ha megállapítást nyer, hogy még a leginkább "ideális" elérhető készülék is jelentős mértékben járul hozzá a mérési bizonytalansághoz, akkor ezt a járulékot a legjobb mérőképesség értékelésénél figyelembe kell venni, és ha szükséges, a nyilatkozatba be kell venni, hogy a legjobb mérőképesség megállapítása az ilyen típusú készülékekkel végzett mérésekre vonatkozik.

A legjobb mérőképesség definíciójából következik, hogy akkreditált tevékenységén belül a laboratórium nem garantálhat a legjobb mérőképességnél kisebb mérési bizonytalanságot. A laboratórium rendes tevékenysége során köteles a legjobb mérőképességének megfelelőnél nagyobb mérési bizonytalanságot megadni, ha megállapítást nyer, hogy a tényleges mérési folyamat jelentős mértékben hozzájárul a mérési bizonytalansághoz. Az alkalmazott vizsgálati módszernek rendszerint van ilyen járuléka, úgyhogy a mérési bizonytalanság sohasem lehet kisebb, mint a legjobb mérőképesség.

A legjobb mérőképesség meghatározása az akkreditáló testület feladata. A legjobb mérőképességet definiáló mérési bizonytalanságnak az aktuálisan (jelenleg) elfogadott eljárásokat kell követnie, és a legjobb mérőképességet ugyanolyan valószínűségi szinten kell megállapítani, mint amilyen a vizsgálati jegyzőkönyvekben és bizonyítványokban van megadva, azaz 95%-os valószínűségnek megfelelő kiterjesztési tényezővel számított kiterjesztett bizonytalanság formájában. A legjobb mérőképesség értékelésekor a mérési bizonytalansághoz

hozzájáruló minden jelentős összetevőt figyelembe kell venni. Egyik sem hagyható el azon az alapon, hogy ideális készülék esetében nem lép fel.

Azoknak a bizonytalanság-összetevőknek az értékelését, amelyekről tudott, hogy az idő vagy valamilyen más fizikai mennyiség függvényében változnak, a normális működési feltételek során várhatóan fellépő lehetséges változások határai alapján kell elvégezni. Például, ha ismert, hogy egy használati etalon időben driftel, akkor az etalonnak a kalibrálások közötti driftje által okozott járulékokat meg kell becsülni, és figyelembe kell venni a használati etalon bizonytalansági járulékanak becslésekor.

C. Függelék

A szórásra alkalmazandó korrekciók a mérések számának függvényében

korrekció $T = t/k$			
n	k=1	k=2	k=3
3	1,32	2,27	-
4	1,20	1,66	3,07
5	1,14	1,44	2,21
6	1,11	1,33	1,84
7	1,09	1,26	1,63
8	1,08	1,22	1,51
9	1,07	1,19	1,43
10	1,06	1,16	1,36
11	1,05	1,14	1,32
12	1,05	1,13	1,28
13	1,04	1,12	1,25
14	1,04	1,11	1,23
15	1,04	1,10	1,21
16	1,03	1,09	1,20
17	1,03	1,09	1,18
18	1,03	1,08	1,17
19	1,03	1,08	1,16
20	1,03	1,07	1,15

Példák:

- Ha $n=10$ és $k=1$, akkor a korrekciós tényező 1,06 azaz a standard bizonytalanság = 1,06 x a becsült szórás.
- Ha $n=5$ mérést végzünk, akkor 95%-os konfidenciaszinten, $k=2$ mellett a korrekciós tényező 1,44.

A standard bizonytalanság = 1,44 x a becsült szórás, és a kiterjesztett bizonytalanság = 2 x a standard bizonytalanság.

Az EUROLAB, az EURACHEM és az EA közös politikai nyilatkozata

(Kivonat az ILAC-G17:2002 "A vizsgálat során fellépő mérési bizonytalanság koncepciójának bevezetése az ISO/IEC 17025 szabvány alkalmazásának bevezetésével együtt" című dokumentumból)

1. *A mérési bizonytalanságra vonatkozó nyilatkozatnak az összehasonlítás céljaira elegendő információt kell tartalmaznia;*

2. *A GUM és az ISO/IEC 17025 az alapvető dokumentumok, de szakterületenkénti értelmezésekre is szükség van;*

3. *Jelenleg csak a mennyiségi (kvantitatív) vizsgálatoknál fellépő mérési bizonytalanság kérdése van napirenden. A minőségi (kvalitatív) vizsgálatok eredményei kezelésének stratégiáját a tudományos közösségnek ki kell dolgoznia;*

4. *Az alapvető követelménynek a teljes bizonytalanság becslésének vagy a fő összetevők azonosításának kell lennie, amit azok nagyságának és az eredő bizonytalanság nagyságának becslésére vonatkozó próbálkozásnak kell követnie;*

5. *A mérési bizonytalanság becslésének alapjaként a rendelkezésre álló tapasztalati adatokat kell felhasználni (minőségellenőrző kártyák, validálás, kör-összehasonlítások, jártassági vizsgálat, tanúsított anyagminták, kézikönyvek stb.);*

6. *Szabványos módszerek alkalmazásakor három eset lehetséges:*

- *ha olyan szabványos módszert alkalmaznak, amely útmutatást tartalmaz a mérési bizonytalanság kiszámítására, akkor a vizsgálólaboratóriumtól nem várható el több, mint hogy kövesse a bizonytalanságértékelési eljárást úgy, ahogyan azt a szabvány előírja;*
- *ha a szabvány a vizsgálati eredményeknek egy tipikus mérési bizonytalanságát írja elő, akkor a laboratóriumok számára megengedett, hogy ezt az értéket adják meg, ha bizonyítani tudják, hogy teljes mértékben megfelelnek a vizsgálati módszernek;*
- *ha a szabvány implicit módon magába foglalja a vizsgálat eredményében fellépő mérési bizonytalanságot, akkor további műveletre nincs szükség.*

A vizsgálólaboratóriumoktól nem lehet többet elvárni, mint hogy jegyezzék fel és alkalmazzák a bizonytalanságra vonatkozó, a szabványban megadott információt, azaz jegyezzék fel az alkalmazható számértékeket vagy hajtsák végre a megfelelő bizonytalanság-becslési eljárást. A szabványosító szervezeteknek a vizsgálati módszereket előíró szabványokat a vizsgálati eredmények bizonytalanságának becslésére és megállapítására vonatkozóan felül kell vizsgálniuk és megfelelően módosítaniuk kell.

7. A bizonytalanságbecslés megkívánt mélysége a különböző műszaki területeken más és más lehet. A figyelembe veendő tényezők:

- a józanész;
- a mérési bizonytalanságnak az eredményre gyakorolt hatása (a meghatározásának a megfelelősége);
- az alkalmazhatóság;
- a mérési bizonytalanság meghatározásában alkalmazott szigorúság foka.

8. Bizonyos esetekben elegendő lehet csupán a reprodukálhatóságot megadni;

9. Ha a mérési bizonytalanság megadása korlátozásokkal történik, akkor a bizonytalansággal kapcsolatos közlésnek ezt világossá kell tennie;

10. Nem szabad új útmutatásokat kidolgozni ott, ahol már vannak használható útmutatások.

* * * * *